

補助事業番号 2017M-160

補助事業名 平成29年度 相変態領域におけるジルコニウム系硬質膜

および切削モニタリングシステムの開発 補助事業

補助事業者名 佐賀大学大学院 工学系研究科 機械システム工学専攻 准教授 長谷川裕之

## 1 研究の概要

自動車および航空機のエンジンの部材には、アルミニウム合金・ニッケル(Ni)基超合金など多種多様な素材が用いられる。これらの素材は、機械的強度・粘性・融点・熱伝導率を代表とする固有の材料特性を持つため、切削加工時には、素材と工具の溶着・切削抵抗による摩耗・摩擦力の増大による発熱が生じ、工具損傷の進行および工具寿命の低下を導く。上記の現状を踏まえ、あらゆる素材に適用できるとともに、いかなる加工条件においても高精度加工・長寿命加工を実現する切削工具の誕生が望まれている。

本事業では、研究事例の少ない複雑組成を持つ窒化ジルコニウム系硬質膜を作製し、微小硬度・結晶構造・摺動特性・密着性・耐酸化性を代表とする表面機能を解明した。そして、工具摩耗・工具寿命・加工精度に影響を与える切削抵抗をその場で計測するモニタリングシステムを構築した。さらに、研究期間において開発した薄膜・計測システムを融合し、実際の切削試験を通じて、薄膜特性・切削抵抗・工具摩耗の相関を体系的にまとめ、薄膜の表面機能が切削性能に与える効果を明らかにした。

## 2 研究の目的と背景

自動車・航空機のエンジンを構成する機械部品として、シリンダーブロックやタービンブレードが挙げられる。シリンダーブロックは、ガソリンの燃焼に必要なピストンを取める容器であり、アルミニウム合金の加工により製造される。一方、航空機の推進力を発生するタービンブレードは、Ni基超合金の加工により製造されるが、超合金の耐熱温度の向上は、燃費の向上に寄与するため、耐熱性を改善した超合金の開発が活発に進められている。

アルミニウム合金・Ni基超合金の切削加工では、次の技術課題が列挙される。

- (1) アルミニウム合金は、融点が約700°C前後であり、素材自体が延性(粘り)を持つため、切削加工時には、素材が工具に溶着し、機械部品の仕上げ面が悪化する。
- (2) Ni基超合金の切削では、切削点において1000°C以上の発熱、工具損傷による摩擦係数の増大により、切削工具と超合金が吸着し、著しい工具損傷を進行させる。

今後、あらゆる素材に適用できるとともに、いかなる加工条件においても高精度加工・長寿命加工を実現する切削工具の誕生が望まれている。

本事業では、工具の長寿命化に寄与する高強度かつ耐酸化性を有する硬質膜を開発するとともに、加工時に工具に作用する切削抵抗の計測システムを構築し、薄膜の表面機能の基礎的観点と切削工具への応用的観点から研究を推進する。下記に本事業の目的を示す。

- (1) これまでに研究事例の少ない窒化ジルコニウム(ZrN)をベースとする複雑組成を持つ硬質膜を開発する。切削工具の応用を想定し、微小硬度・結晶構造・摺動特性・密着性・耐酸化性を評価し、ZrN系薄膜の表面機能を明らかにする。

- (2) 切削加工時に、工具には主分力・背分力・送り分力からなる切削抵抗が作用する。切削抵抗は、工具摩耗を進行させ、加工精度・工具寿命に影響を及ぼす。本研究では、高精度加工・長寿命加工を実現するための基礎的情報を得るため、加工時間・加工条件に依存して変動する切削抵抗を計測するモニタリングシステムを構築する。
- (3) 研究期間において開発したZrN系薄膜とモニタリングシステムを融合させ応用の側面から研究を行う。具体的には、切削工具に薄膜を被覆した切削工具を用いて切削試験を行う。試験時には、モニタリングシステムにより切削抵抗を測定し、試験後には、工具のすくい面・逃げ面の摩耗幅を評価する。これらの結果から薄膜特性と切削性能の相関を体系的にまとめる。

### 3 研究内容

切削工具の性能を向上させる硬質膜の開発ならびに加工精度に影響を与える切削抵抗を計測するモニタリングシステムの構築を試みた。下記に研究内容を記載する。

#### (1) ジルコニウム系硬質膜の開発 (図1)

研究事例の少ない窒化ジルコニウム(ZrN)系薄膜を開発した。放電プラズマ焼結法により薄膜原料になるターゲットを作製するとともに、グロー放電により発生するプラズマを用いて薄膜を合成した。そして、薄膜の微細構造・硬度値・耐摩耗性・耐酸化性・密着性を評価し、薄膜の表面機能を体系的にまとめた。



図1: 焼結技術および成膜技術を用いたジルコニウム系硬質膜の開発

#### (2) 切削モニタリングシステムの開発(図2)

切削抵抗を計測するモニタリングシステムの設計・製作を行い、ロードセルおよびひずみゲージからなる装置を完成させた。その後、切削試験を行い、工具摩耗の挙動を切削抵抗の測定を通じて把握するとともに、試験後の工具の観察から、実際の工具摩耗との整合性を確認した。

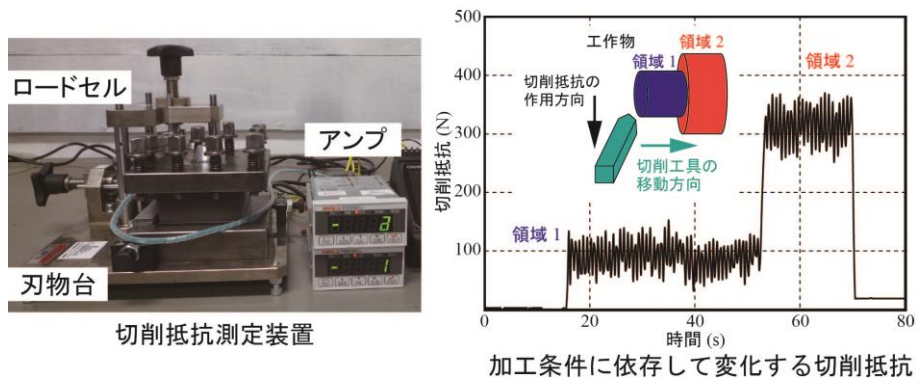


図2: 切削抵抗測定装置の開発ならびに切削試験における測定結果

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

##### (1) ジルコニウム系硬質膜の開発

機械加工の分野では、窒化チタンアルミニウム(TiAlN)を被覆した工具が汎用的に用いられており、TiAlNの特性を改善する研究開発が盛んに行われている。近年、航空機エンジンのタービンブレードの部材として利用されるニッケル基超合金の切削加工では、摩擦の増大により工具摩耗が進行するとともに、1000°C以上の発熱が工具と切りくずを吸着させ、工具寿命を著しく短命にすることが問題になっている。今後、工具の強度および耐酸化性を向上させ、長寿命かつ高効率の加工を実現することが切望されている。本事業を通じて、TiAlNとは異なる、研究事例の少ない窒化物硬質膜の開発に成功した。化学組成の最適化、機械的性質および耐酸化性のさらなる向上を図ることにより、超合金などの難削材加工に適用できる薄膜の実現が期待できる。

##### (2) 切削モニタリングシステムの開発

切削抵抗は、機械部品等の加工精度に影響を与える一要因であるが、測定の手間とコストが問題になることから製造現場において測定されることは多くはない。本事業では、簡易かつ廉価に測定する計測システムを開発した。切削抵抗を構成する主分力・背分力・送り分力のすべてを測定できるように改良する必要があるが、製造現場において手軽に活用できるものと考えている。さらなる実地試験を行うとともに、計測データの検証を進めることにより、加工精度・工具摩耗を推定する計測システムへと発展することが可能であると推察している。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究のテーマは、遷移金属と軽元素からなるセラミック硬質膜の開発ならびに切削モニタリングシステムの開発からなる。遷移金属と軽元素からなる窒化チタン、炭化チタンといったセラミック硬質膜の切削工具への応用は1950年代初頭から開始されており、現在にいたるまで、多種多様な薄膜が生み出されてきた。その中で、最もシンプルな化学組成を持つ窒化ジルコニウム(ZrN)も同様に開発されてきたが、ZrNに異種元素を添加した複雑組成を持つ薄膜を詳細に研究した事例は少ない。本事業を通じて、発火しやすい性質を持つジルコニウムの特性を考慮し、化学的に安定なZrN粉末を用いて、薄膜原料であるターゲット作製および薄膜作製に成功した。さらに、薄膜の分析を通じて、ZrNへの異種元素の添加効果ならび相変態挙動を明らかにすることができ、有意義であったと考えている。

切削モニタリングシステムの開発では、切削抵抗測定に用いられる水晶圧電式センサの問題点を踏まえ、簡単かつ廉価な切削抵抗の測定をコンセプトに研究を進め、企図する装置を開発することができた。さらに、薄膜の応用試験として、切削試験が行われることが多いが、過去の研究を俯瞰すると、試験後の工具摩耗の観察結果から薄膜(工具)の優劣をつけているにすぎず、動的に変化する工具摩耗の挙動を正確に把握していない。本事業では、開発した装置を用いて、切削抵抗と工具摩耗の相関を示すことに成功し、薄膜および工具摩耗の新たな評価手法を提案できたと考えている。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

補助事業期間において、下記の研究成果の掲載および発表を実施した。

- (1) Si含有CrAlN薄膜の耐摩耗性および酸化挙動の解明, 2018年度 精密工学会九州支部講演論文集, 113 (2018年).



(2) (1)以外で当事業において作成したもの  
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 佐賀大学大学院 (サガダイガクダイガクイン)

住 所： 〒840-8502

佐賀県佐賀市本庄町1番地

担 当 者： 准教授 長谷川 裕之 (ジュンキョウジュ ハセガワ ヒロユキ)

担 当 部 署： 工学系研究科 機械システム工学専攻  
(コウガクケイケンキュウカ キカイシステムコウガクセンコウ)

E-mail: [hasegawa@me.saga-u.ac.jp](mailto:hasegawa@me.saga-u.ac.jp)

URL: <http://saga-mech-surface.jimdo.com/>